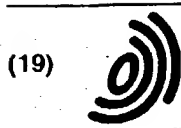


MIS



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 1 098 751 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**02.01.2003 Patentblatt 2003/01**

(21) Anmeldenummer: **99941439.4**

(22) Anmeldetag: **17.07.1999**

(51) Int Cl.7: **B29C 65/16, B23K 26/06**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP99/05109**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 00/003865 (27.01.2000 Gazette 2000/04)**

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM SCHWEISSEN VON THERMOPLASTISCHEN KUNSTSTOFFEN MIT LASERLICHT**  
**METHOD AND DEVICE FOR WELDING THERMOPLASTIC SYNTHETIC MATERIALS USING LASER LIGHT**  
**PROCEDE ET DISPOSITIF DE SOUDAGE AU LASER DE MATERIAUX SYNTHETIQUES THERMOPLASTIQUES**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE**

(30) Priorität: **17.07.1998 DE 19832168**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**16.05.2001 Patentblatt 2001/20**

(73) Patentinhaber: **Lisa Laser Products OHG**  
**Fuhrberg & Teichmann**  
**37191 Katlenburg-Lindau (DE)**

(72) Erfinder:  
• **FUHRBERG, Peter**  
**D-37191 Katlenburg-Lindau (DE)**  
• **POTT, Harald**  
**D-42499 Hückeswagen (DE)**

• **SAUERWALD, Christian**  
**D-66606 St. Wendel (DE)**

(74) Vertreter: **Patentanwälte Rehberg + Hüppe**  
**Postfach 31 62**  
**37021 Göttingen (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  

<b>EP-A- 0 131 918</b>	<b>EP-A- 0 398 447</b>
<b>WO-A-97/47796</b>	<b>DE-A- 1 479 239</b>
<b>DE-A- 3 621 030</b>	<b>DE-A- 4 225 680</b>
<b>DE-A- 4 432 081</b>	<b>DE-A- 19 700 518</b>
<b>DE-A- 19 750 263</b>	<b>DE-U- 29 621 859</b>
<b>FR-A- 1 476 398</b>	<b>GB-A- 1 051 397</b>
<b>GB-A- 1 528 452</b>	<b>US-A- 3 974 016</b>
<b>US-A- 4 959 522</b>	

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen mit Laserlicht, wobei das Laserlicht in einen Schweißbereich eines Werkstücks oder mehrerer aneinander angrenzender Werkstücke aus thermoplastischen Kunststoff gerichtet wird. Weiterhin bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zum Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen mit Laserlicht gemäß dem Verfahren, mit einem Laser als Lichtquelle für das Laserlicht und mit einer Optik und/oder einem Lichtleiter zum Richten des Laserlichts in einen Schweißbereich eines Werkstücks oder mehrerer aneinander angrenzender Werkstücke aus thermoplastischem Kunststoff.

[0002] Das Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen erfolgt üblicherweise durch Kontaktieren von Heizelementen an die thermoplastischen Kunststoffe. Durch Wärmeübertrag von den Heizelementen auf die thermoplastischen Kunststoffe werden diese aufgeheizt und plastifiziert, bis beispielsweise eine Verbindung von zwei Werkstücken aus thermoplastischem Kunststoff möglich ist. Dabei besteht ein Nachteil darin, daß die thermoplastischen Kunststoffe an der Grenzfläche zu den Heizelementen ihre höchste Temperatur erreichen, d. h. besonders weitgehend plastifiziert sind. Die Plastifizierung des Kunststoffs wird aber eigentlich dort benötigt, wo beispielsweise die Verbindung von zwei Werkstücken erfolgen soll. Im Kontaktbereich zu den Heizelementen besteht vielmehr die Gefahr, daß beim Entfernen der Heizelemente von den Werkstücken die dort noch plastischen Werkstücke beschädigt werden. Entsprechend ist es bei vielerlei Anwendungen erforderlich, die Heizelemente zunächst abzukühlen und erst dann von den Werkstücken zu entfernen. Hierdurch werden jedoch die beim Verschweißen erreichbaren Taktzeiten erheblich verlängert. Ein weiterer Nachteil des Schweißens von thermoplastischen Kunststoffen unter Verwendung von Heizelementen liegt darin, daß für die Ausbildung von geometrisch kompliziert gestalteten Schweißnähten auch entsprechend kompliziert gestaltete Heizelemente benötigt werden, was insbesondere bei der Kleinserienfertigung oder der Einzelanfertigung kaum rentabel ist.

[0003] Bei einem aus der DE 42 25 679 A1 bekannten Verfahren der eingangs beschriebenen Art wird Laserlicht eines CO<sub>2</sub>-Lasers mit einer Wellenlänge von 10,6 µm verwendet. Das Laserlicht ersetzt ein Heizelement und wärmt den thermoplastischen Kunststoff direkt auf. Laserlicht mit einer Wellenlänge von 10,6 µm dringt aber nicht nennenswert in die Tiefe eines Werkstücks aus thermoplastischem Kunststoff ein, selbst wenn der Kunststoff im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts transparent ist. Das Laserlicht mit der Wellenlänge von 10,6 µm wird vielmehr nach wenigen Zehntelm Werkstücktiefe vollständig absorbiert und in Wärme umgewandelt. Das heißt, wie bei der Verwendung eines Heizelements fällt die Wärme im Bereich der der

Schweißverbindung typischerweise abgekehrten Oberfläche des dem Laser zugekehrten Werkstücks an. Da das Laserlicht kontaktlos auf den thermoplastischen Kunststoff einwirken kann, besteht nicht die Gefahr einer Beschädigung des Werkstücks beim Entfernen eines Heizelements. Nach dem Schweißen muß das Werkstück aber trotzdem abgekühlt werden, damit seine durch die Aufheizung partiell besonders plastische und daher empfindliche Oberfläche nicht beschädigt wird. Dies steht kurzen Taktzeiten beim Schweißen ebenso entgegen wie der Wärmetransport von der Oberfläche der Werkstücke bis in den Bereich der eigentlichen Schweißung hinein. Weiterhin ist bei dem bekannten Verfahren nachteilig, daß die zu seiner Durchführung erforderlichen Vorrichtungen sehr kostspielig sind. CO<sub>2</sub>-Laser sind bereits an sich aufwendig. Hinzu kommt, daß derzeit keine geeigneten Lichtleiter für Laserlicht mit einer Wellenlänge von 10,6 µm bekannt sind. Entsprechend muß das Laserlicht mit dieser Wellenlänge mit komplizierten Spiegelgelenkarmen o. dgl. auf das jeweilige Werkstück gerichtet werden.

[0004] Aus der DE 38 13 570 A1 ist es bei einem Verfahren zum Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen mit Laserlicht grundsätzlich bekannt, die Wellenlänge des Laserlichts so auszuwählen, daß eine vollständige Absorption des Laserlichts in den jeweiligen Werkstücken erfolgt. Konkrete Wellenlängen für das Laserlicht sind dabei aber nicht angegeben.

[0005] Aus der DE 44 32 081 A1 ist es bekannt, bei einem Verfahren zum Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen mit Laserlicht, Laserlicht mit einer Wellenlänge von 0,50 bis 10,90 µm zu verwenden. Dabei soll ein Wellenlängenbereich von 0,70 bis 3 µm besonders bevorzugt sein. Für diesen bevorzugten Wellenlängenbereich wird als Beispiel ausschließlich ein Nd:YAG-Laser angeführt, dessen Laserlicht bekanntermaßen eine Wellenlänge von 1,06 µm aufweist. Laserlicht mit dieser Wellenlänge wird von bekannten thermoplastischen Kunststoffen ohne Zusatzstoffe nur zu geringen Anteilen absorbiert. Um eine gute Umsetzung des Laserlichts in Wärme zu erreichen, muß daher eines der beiden Werkstücke bei der Wellenlänge von 1,06 µm nicht-transparent sein, oder es muß eine hinter den Werkstücken angeordnete schwarze Fläche vorgesehen sein. An der jeweiligen Grenzfläche zu dem transparenten Kunststoff erfolgt eine Umwandlung des Laserlichts in Wärme. Wenn es sich um eine zusätzliche schwarze Fläche handelt, ergeben sich dieselben Nachteile wie bei einem anderweitig erwärmten Heizelement. Bei einer Kombination eines Werkstücks aus thermoplastischem Kunststoff ohne Zusatzstoffe, der für Licht mit einer Wellenlänge von 1,06 µm transparent ist, und einem Werkstück aus thermoplastischem Kunststoff, der durch Zusatzstoffe bei dieser Wellenlänge gerade nicht transparent ist, ergibt sich bei flächiger Verbindung der beiden Werkstücke zwar eine Konzentration der Wärmeumwandlung auf das Gebiet der eigentlichen Schweißung, ein Verschweißen von zwei

Werkstücken auf Stoß beispielsweise ist aber nicht möglich. Darüber hinaus sind durch die Notwendigkeit, ein Werkstück aus bei der relevanten Wellenlänge nicht-transparentem thermoplastischen Kunststoff auszubilden, starke Beschränkungen hinsichtlich der Anwendbarkeit des bekannten Verfahrens gegeben.

[0006] Aus der DE 25 44 371 ist es bekannt, sehr dünne Folien aus thermoplastischem Kunststoff von etwa 15 µm Dicke unter Verwendung von Laserlicht mit einer Wellenlänge von 10,6 µm flach miteinander zu verschweißen. Dazu wird das Laserlicht durch die Folien aus thermoplastischen Kunststoff hindurch auf einen Unterlagsstab gerichtet. Dies ist bei der kurzen Absorptionslänge von Laserlicht dieser Wellenlänge in thermoplastischen Kunststoffen nur bei der geringen Dicke der Folien möglich. Der Unterlagsstab wird durch das Laserlicht auf eine Temperatur von annähernd 1900 °C erwärmt, bei der er eine Strahlung im Spektralbereich von 1,7 bis 3,4 µm emittiert. Diese Strahlung soll durch den Kunststoff, bei dem es sich um Polyethylen handelt, dann ausreichend absorbiert werden, obwohl die Absorptionslänge von Licht in Kunststoff bei kürzeren Wellenlängen größer ist als bei dem ursprünglichen Laserlicht mit der Wellenlänge von 10,6 µm. So ist tatsächlich nur ein sehr begrenzter Teil der eingestrahlichten Lichtenergie für eine Erwärmung des relevanten Bereichs der Folien nutzbar. Weiterhin muß aufgrund der hohen Temperatur des Unterlagsstabs beim Verschweißen der Folien ein Kontakt mit ihm in aufwendiger Weise vermieden werden. In einer solchen Anordnung ist unter keinen Umständen eine Konzentrierung der thermischen Strahlung eines heißen Unterlagsstabs in dem Spektralbereich von 1,7 bis 3,4 µm auf einen begrenzten Schweißbereich möglich, da die von dem ursprünglichen Laserlicht erwärmten Bereiche des Unterlagsstabs als in alle freie Raumrichtungen emittierende Punktlichtquellen wirken.

[0007] Die DE 296 21 859 U1 offenbart einen diodengepumpten Laser, dessen Kristall ein Tm:YAG-Kristall, ein Tm, Ho:YAG-Kristall, ein Tm:YLF-Kristall oder ein Tm, Ho:YLF-Kristall sein kann und der eine Wellenlänge des abgestrahlten Laserlichts von ca. 2 µm aufweist. Das Laserlicht kann in einen wasserarmen oder wasserfreien Lichtwellenleiter, insbesondere in eine Quarz-Quarz-Faser eingekoppelt werden. Quarz-Quarz-Fasern weisen bei Wellenlängen im Bereich von 2 µm einen so großen Transmissionskoeffizienten auf, dass eine Führung des Laserlichts mit geringer Dämpfung auch über größere Faserlängen von 1 bis 3 m möglich ist.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen der eingangs beschriebenen Art aufzuzeigen, das die problemlose und schnelle Verschweißung auch dickerer Werkstücke aus Kunststoff unter Ausbildung dauerhafter Schweißnähte, insbesondere von Stoßnähten, ermöglicht. Weiterhin soll eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens aufgezeigt werden.

[0009] Bei dem Verfahren der eingangs beschriebe-

nen Art wird die Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das Laserlicht eine Wellenlänge von 1,8 bis 2,2 µm, d. h. von etwa 2 µm, aufweist. Laserlicht in diesem Wellenlängenbereich wird von vielen thermoplastischen Kunststoffen direkt, d. h. unabhängig von irgendwelchen Füll- oder Zusatzstoffen, über eine Absorptionslänge von einigen mm absorbiert. Das heißt, ein mit Laserlicht dieser Wellenlänge bestrahltes Werkstück wird in der Tiefe aufgewärmt, also ggf. genau dort, wo eine Schweißnaht ausgebildet werden soll. So lassen sich Kunststoffe wie Polyamide, Polyacetale, Polyester, Polyethylene, Polypropylene, Polycarbonate, Polyolephine, die häufig nicht zu verkleben sind, problemlos dauerhaft miteinander verschweißen. Besonders gute Erfahrungen liegen mit Polypropylen vor. Auch das Verschweißen unterschiedlicher thermoplastischer Kunststoffe ist machbar. Eine Übersicht über die nach derzeitigem Stand einsetzbaren Kunststoffe gibt die nachstehende Tabelle, in der die Angabe "Erscheinungsform" sich auf den sichtbaren Lichtbereich bezieht und mit "farbig" auf durch zugesetzte Farbstoffe eingefärbte Varianten des jeweiligen Kunststoffs verweist. Die zugesetzten Farbstoffe verhalten sich bei dem neuen Verfahren, das die intrinsische Absorption der Thermoplastischen Kunststoffe von Laserlicht mit einer Wellenlänge von ca. 2 µm ausnutzt, neutral. So können mit dem neuen Verfahren insbesondere auch Kunststoffe verschweißt werden, die im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts transparent oder transluzent sind. Farbstoffe und andere Zusatzstoffe können den Kunststoffen jedoch aus anderen Gründen zugesetzt sein. Die Handhabung des Laserlichts mit einer Wellenlänge von ca. 2 µm ist problemlos. Es kann im wasserarmen oder wasserfreien Quarz-Quarz-Fasern ohne allzu große Dämpfung auch über größere Faserlängen geführt werden. In diesem Wellenlängenbereich ist eine Fokussierung des Laserlichts auf einen verfahrbaren Punkt oder einen Strich oder auch die nicht-fokussierende Projektion des Laserlichts auf einen Strich mit üblichen Optiken möglich, so daß auch sehr feine Schweißnähte ausgebildet werden können. Dies ist bis herab zu einer Breite von 0,1 mm möglich. Vorzugsweise werden durch das neue Verfahren die die beiden Werkstücke verbindenden Schweißnähte mit einer Breite von 0,7 bis 2 mm ausgebildet. Es sind ohne weiteres aber auch Schweißnähte mit größeren Breiten möglich. Materialstärken der beiden Werkstücke betragen typischerweise zwischen 50 µm und 5 mm, wobei der Schwerpunkt bei 0,2 bis 2 mm starken Folien liegt. Wenn die Werkstücke auf Stoß verschweißt werden, entspricht ihre Materialdicke genau der Breite der Schweißnaht. Die sinnvollen Materialdicken für ein Verschweißen auf Stoß beginnen bei 0,5 mm. Im Vergleich zu der Absorptionslänge von Laserlicht mit der Wellenlänge von 2 µm in thermoplastischen Kunststoffen von je nach Material ca. 1 bis 10 mm liegen die sinnvollen Materialdicken im Bereich der Schweißnaht in der gleichen Größenordnung oder sind bis zu etwa einer Größenordnung klei-

ner, wobei dann zwar eine geringere Leistungsausbeute des Laserlichts aber im Ausgleich eine besonders homogene Verteilung der Erwärmung über die Tiefe des von dem Laserlicht erfaßten Bereichs erzielt wird.

Tabelle

Kunststoff	Erscheinungsform
PS	transparent o. farbig
PMMA	transparent o. farbig
PC	transparent o. farbig
PE	natur o. farbig
PA	natur o. farbig
POM	natur o. farbig
SAN	natur o. farbig
ABS	natur o. farbig
PP	natur o. farbig
SB	natur o. farbig
PVC	natur o. farbig
PET	natur o. farbig
PSU	natur o. farbig
PBT	natur o. farbig
TPE	natur o. farbig

[0010] Mit dem neuen Verfahren können zwei Werkstücke aus Kunststoff überlappend miteinander verschweißt werden, wobei das Laserlicht quer zu den Werkstücken ausgerichtet wird. Typischerweise wärmt das Laserlicht die Werkstücke beiderseits des Kontaktbereichs auf, wobei eine Abschwächung durch Absorption im Bereich des hinteren Werkstücks durch einen hinter diesem Werkstück angeordneten Reflektor kompensiert werden kann. Der Reflektor selbst ist unkritisch, da er seinerseits nicht durch das Laserlicht aufgeheizt wird. Er kann sogar während der Verschweißung gekühlt werden.

[0011] Mit dem neuen Verfahren ist es insbesondere auch möglich, zwei Werkstücke aus Kunststoff auf Stoß miteinander zu verschweißen. Dabei wird das Laserlicht in einem definiert begrenzten, typischerweise sehr schmalen Bereich parallel zur Ebene des Stoßes auf beide Werkstücke gerichtet. Die aufeinanderstoßenden Schmalseiten der Werkstücke werden durch das Laserlicht über die gesamte Tiefe des Stoßes aufgewärmt. Auch hierbei kann wieder ein Reflektor eine Abschwächung des Laserlichts durch Absorption in Richtung der Stoßtiefe kompensieren. In der Möglichkeit, sowohl dünnere Folien, als auch dickere Werkstücke auf Stoß miteinander zu verschweißen zu können, ist ein besonderer Vorteil des neuen Verfahrens gegenüber dem Stand der Technik zu sehen.

[0012] Die Werkstücke können beim Verschweißen im Bereich einer gewünschten Schweißverbindung zwischen Halteelementen angeordnet werden, von denen mindestens eines das Laserlicht hindurchtreten läßt. Das andere Halteelement kann der bereits erwähnte

Reflektor sein. Beide Halteelemente können beim Verschweißen gekühlt werden, so daß sich die wirksame Aufheizung der Werkstücke auf einen innenliegenden Bereich konzentriert. Dies ist beim flachen Verschweißen von beispielsweise Kunststofffolien sinnvoll. Beim Ausbilden einer Stoßnaht, die sich über die gesamte Stoßtiefe erstrecken soll, darf eine Kühlung der Halteelemente nicht so weit betrieben werden, daß die Werkstücke in der Nähe der Halteelemente nicht mehr plastifiziert werden.

[0013] Das neue Verfahren kann aber auch völlig kontaktlos durchgeführt werden, wobei die Werkstücke beim Verschweißen im Bereich einer gewünschten Schweißverbindung frei liegen.

[0014] Das Laserlicht kann bei dem neuen Verfahren mit einem Lichtleiter punktuell an das Werkstück bzw. die Werkstücke aus dem thermoplastischen Kunststoff herangeführt werden. Die Schweißnaht beim Verbinden von zwei Werkstücken kann so eine sehr komplizierte geometrische Gestaltung aufweisen, solange der Lichtleiter in ihrer Richtung geführt werden kann. Dies kann aber mit einfachen, vielfach eingesetzten Positioniervorrichtungen problemlos erfolgen.

[0015] Das Laserlicht kann aber auch über einen größeren linienförmigen Bereich einer gewünschten Verschweißung an die Werkstücke aus dem thermoplastischen Kunststoff herangeführt werden. Dies ist beispielsweise mit einer Lichtleiterplatte möglich, auf deren einen Schmalseite mehrere Laser angeordnet sind, während die gegenüberliegende Schmalseite zur Anlage an einem oder beiden der Werkstücke vorgesehen ist. In der Lichtleiterplatte wird das Laserlicht durch Totalreflexion gehalten, und die Lichtintensität des Laserlichts wird über die Breite der Platte homogenisiert.

[0016] Die Vorrichtung der eingangs beschriebenen Art ist erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, daß der Laser das Laserlicht mit einer Wellenlänge von 1,8 bis 2,2 µm abstrahlt. Derartige Laser sind beispielsweise aus der DE-GM 296 21 859.6 bekannt. Die dort beschriebenen Laser mit einer Wellenlänge von ca. 2 µm sind für die Durchführung des Verfahrens besonders gut geeignet. Dabei handelt es sich um insbesondere diodengepumpte Tm:YAG-Tm, Ho:YAG-, Tm:YLF- bzw. Tm, Ho:YLF-Laser. Diese Festkörperlaser sind bereits ihrerseits vergleichsweise preisgünstig. Darüberhinaus kann auch ein geeigneter Diodenlaser verwendet werden, der das Laserlicht mit der Wellenlänge von 2 µm abstrahlt. Das Laserlicht mit der Wellenlänge von 2 µm kann zudem mit geringem Aufwand geleitet und fokussiert werden. Weiter stellt sich heraus, daß für die neue Vorrichtung in Vergleich zu einer entsprechenden Vorrichtung aus dem Stand der Technik mit einem Nd:YAG-Laser ein Laser mit einer um etwa eine Größenordnung geringeren Lichtleistung ausreichend ist, da sein Laserlicht Überraschend effektiv und konzentriert den Kunststoff in den relevanten Bereichen des Werkstücks bzw. der Werkstücke aufheizt. Dennoch zeigt sich trotz der geringeren Lichtleistung schon binnen kur-

zer Einwirkzeiten des Laserlichts mit der Wellenlänge von ca. 2 µm eine stetige Erwärmung des thermoplastischen Kunststoffs, die im Ergebnis hohe Schweißgeschwindigkeiten bei gleichzeitig großer Qualität der entstehenden Schweißnähte erlaubt. In der bevorzugten Ausführungsform der neuen Vorrichtung ist der Laser ein kontinuierlich emittierender Strichlaser.

[0017] Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert und beschrieben. Dabei zeigt:

Fig. 1 den prinzipiellen Aufbau zur Durchführung des neuen Verfahrens,

Fig. 2 eine erste Ausführungsform des neuen Verfahrens,

Fig. 3 eine Abwandlung der Ausführungsform des neuen Verfahrens gemäß Fig. 2,

Fig. 4 eine zweite Ausführungsform des neuen Verfahrens,

Fig. 5 eine Abwandlung der Ausführungsform des neuen Verfahrens gemäß Fig. 4,

Fig. 6 eine zweite Ansicht zu der Abwandlung der zweiten Ausführungsform des neuen Verfahrens gemäß Fig. 5 und

Fig. 7 Details einer Vorrichtung für eine weitergehende Abwandlung der Ausführungsform des Verfahrens gemäß den Fig. 5 und 6.

[0018] Fig. 1 zeigt einen Laser 1, bei dem es sich um einen diodengepumpten Tm:YAG-Festkörperlaser handelt, der Laserlicht 2 mit einer Wellenlänge von 2 µm abstrahlt. Das Laserlicht 2 wird mit einer Linse 3 in einen Lichtleiter 4 eingekoppelt. Der Lichtleiter ist eine wasserfreie Quarz-Quarz-Faser. Der Lichtleiter 4 weist nur eine geringe Dämpfung für das Laserlicht 2 auf, auch bei größeren Faserlängen. Das aus dem Lichtleiter 4 wieder austretende Laserlicht 2 wird von einer Optik 5 umgeformt und trifft anschließend auf ein Werkstück 6 aus thermoplastischem Kunststoff, beispielsweise aus einem Polyolephin. Das Laserlicht 2 wird in einem Schweißbereich 19 des Werkstücks 6 über eine Absorptionslänge von einigen mm absorbiert, d. h. in Wärme umgewandelt.

[0019] Die Erwärmung eines folienartigen Werkstücks 7 und eines dahinterliegenden weiteren folienartigen Werkstücks 8, die beide aus thermoplastischen Kunststoff bestehen, wird bei der Anordnung gemäß Fig. 2 zum flachen Verbinden der Werkstücke 7 und 8 durch eine Schweißnaht 9 genutzt, die sich in dem erwärmten Schweißbereich 19 ausbildet. Dabei erfolgt das Verschweißen der Werkstücke 7 und 8 kontaktlos, d. h. die Werkstücke 7 und 8 liegen im Bereich der

Schweißnaht 9 völlig frei und mit Abstand zu der Optik 5.

[0020] Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 3 ist auf die Optik 5 verzichtet. Der Lichtleiter 4 liegt vielmehr direkt an einer Quarzglasplatte 10 an, die ein erstes Halteelement 11 für das Paar der flach miteinander zu verbindenden Werkstücke 7 und 8 ausbildet. Auf der Rückseite der Werkstücke 7 und 8 ist ein zweites Halteelement 12 in Form eines Reflektors 13 vorgesehen. Das aus dem Lichtleiter 4 austretende Laserlicht 2 tritt durch die Quarzglasplatte 10 hindurch und wird dann schrittweise von den Werkstücken 7 und 8 absorbiert, wobei die Werkstücke 7 und 8 in dem Schweißbereich 19, d. h. im Bereich der gewünschten Schweißnaht 9, erwärmt werden. Der auf den Reflektor 13 auftreffende Rest des Laserlichts 2 wird auf die Werkstücke 8 und 7 zurückreflektiert, wodurch eine ungleichmäßige Verteilung der Erwärmung der Werkstücke 7 und 8 über den Schweißbereich 19 aufgrund der fortschreitenden Absorption zumindest teilweise kompensiert wird. Die Plastifizierung des Kunststoffs der Werkstücke 7 und 8 an den äußeren Oberflächen bewegt sich in derselben Größenordnung wie die Plastifizierung im Bereich der gegenseitigen Anlage der Werkstücke 7 und 8. Allein dies erlaubt es, die Halteelemente 11 und 12 nach der Ausführung der Schweißnaht 9 sehr rasch auseinander zu fahren, ohne die Schweißverbindung wieder zu beschädigen. Zudem ist es möglich, die Halteelemente 11 und 12 dauerhaft zu kühlen, da die Erwärmung der Werkstücke 7 und 8 im Kontaktbereich zu den Halteelementen 11 und 12 für die Ausbildung der Schweißnaht 9 unnötig ist.

[0021] Fig. 4 zeigt eine andere Ausführungsform des Verschweißens von zwei Werkstücken 7 und 8 mit dem Laserlicht 2. Die Werkstücke 7 und 8 aus thermoplastischen Kunststoff sind hier auf Stoß angeordnet. Das Laserlicht 2 aus der Optik 5 wird so auf die Werkstücke 7 und 8 gerichtet, daß beide Werkstücke 7 und 8 über die gesamte Tiefe des Stoßes 14 und damit der gewünschten Verschweißung 9 erwärmt werden. Bis zu einer Materialstärke der Werkstücke 7 und 8 von einigen mm ist dies ob der Wellenlänge des Laserlichts 2 von 2 µm problemlos möglich.

[0022] Während gemäß Fig. 4 die Werkstücke 7 und 8 im Bereich der Schweißnaht 9 nicht geführt bzw. gehalten sind, ist gemäß Fig. 5 eine rückwärtige Abstützung durch ein als Reflektor 13 ausgebildetes Halteelement 12 vorgesehen. Auf der Eintrittsseite des Laserlichts ist eine Quarzglasplatte 15 angeordnet, deren Schmalseite dem Halteelement 12 gegenüberliegt. Die Quarzglasplatte 15 dient als Lichtleiter 4 für das Laserlicht 2, das hier direkt von als Diodenlasern 16 ausgebildeten Lasern 1 auf der dem Reflektor 13 gegenüberliegenden Seite der Quarzglasplatte 15 in die Quarzglasplatte 15 eingekoppelt wird. Das Laserlicht 2 wird durch Totalreflexion in der Quarzglasplatte 15 geführt, wobei seine Intensitätsverteilung über die Breite der Quarzglasplatte 15 gleichzeitig homogenisiert wird, und trifft dann auf die Werkstücke 7 und 8 im Bereich des

Stoßes 14, d. h. in dem Schweißbereich 19 bzw. der gewünschten Schweißnaht 9 auf.

[0023] Fig. 6 zeigt die Anordnung gemäß Fig. 5 aus einer zu Fig. 5 rechtwinklig verlaufenden Blickrichtung und läßt die Mehrzahl der Diodenlasern 16 erkennen.

[0024] Gemäß den Fig. 5 und 6 ist die Anlagefläche der Quarzplatte 15 an den Werkstücken 7 und 8 eben. Fig. 7 skizziert den Fall eines komplizierteren Verlaufs der gewünschten Schweißnaht, indem die den Diodenlasern 16 gegenüberliegende Schmalseite der Quarzplatte 15 einen komplizierten kurvenförmigen Verlauf aufweist. Die Verwendung einer Quarzplatte 15 als Lichtführung ist immer dann sinnvoll, wenn vergleichsweise breite Schweißnähte angelegt werden sollen und wenn eine Vielzahl von gleichartigen Schweißnähten ausgeführt werden sollen. Wechselnde Geometrien der Schweißnähte und besonders schmale Schweißnähte sind mit der Anordnung gemäß den Fig. 1-4 leichter zu befriedigen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen mit Laserlicht, wobei das Laserlicht in einen Schweißbereich eines Werkstücks oder mehrerer aneinander angrenzender Werkstücke aus thermoplastischem Kunststoff gerichtet wird, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Laserlicht (2) eine Wellenlänge von 1,8 bis 2,2  $\mu\text{m}$  aufweist, und daß die thermoplastischen Kunststoffe bei dieser Wellenlänge eine intrinsische Absorption mit einer Absorptionslänge von 1 bis 10 mm aufweisen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der thermoplastische Kunststoff, aus dem die beiden Werkstücke (7, 8) ausgebildet sind, im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts transparent oder transluzent ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Laserlicht (2) mit einer Optik (5) und/oder einem Lichtleiter (4) in den Schweißbereich gerichtet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** in dem Schweißbereich eine die beiden Werkstücke (7, 8) verbindende Schweißnaht mit einer Breite von 0,1 bis 5 mm, vorzugsweise mit einer Breite von 0,7 bis 2 mm, ausgebildet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** die beiden Werkstücke (7, 8) eine Dicke von 50  $\mu\text{m}$  bis 5 mm, insbesondere von 0,2 bis 2 mm, aufweisen.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **da-**

**durch gekennzeichnet, daß** die Werkstücke (7, 8) beim Verschweißen im Bereich einer gewünschten Schweißverbindung (9) zwischen Halteelementen (11, 12) angeordnet werden, von denen mindestens eines das Laserlicht (2) hindurchtreten läßt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Laserlicht (2) mit dem Lichtleiter (4) direkt an das Werkstück bzw. die Werkstücke (7, 8) aus dem thermoplastischen Kunststoff herangeführt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Laserlicht (2) in einen plattenförmigen Lichtleiter (4) eingekoppelt und mit dem Lichtleiter (4) über einen linienförmigen Schweißbereich an das Werkstück bzw. die Werkstücke (7, 8) aus dem thermoplastischen Kunststoff herangeführt wird.
9. Vorrichtung zum Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen mit Laserlicht nach einem der Ansprüche 1 bis 8, mit einem Laser als Lichtquelle für das Laserlicht und mit einer Optik und/oder einem Lichtleiter zum Richten des Laserlichts in einen Schweißbereich eines Werkstücks oder mehrerer aneinander angrenzender Werkstücke aus thermoplastischem Kunststoff, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Laser (1) das Laserlicht (2) mit einer Wellenlänge von 1,8 bis 2,2  $\mu\text{m}$  abstrahlt.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** auf der der Optik (5) bzw. dem Lichtleiter (4) gegenüberliegenden Rückseite der Werkstücke (7, 8) ein Halteelement (12) in Form eines Reflektors (13) vorgesehen ist, der den durch die Werkstücke (7, 8) auftreffenden Rest des Laserlichts (2) auf die Werkstücke (7, 8) zurückreflektiert, wodurch eine ungleichmäßige Erwärmung der Werkstücke (7, 8) über den Schweißbereich (19) aufgrund der fortschreitenden intrinsischen Absorption zumindest teilweise kompensiert wird.
11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Laser (1) ein insbesondere diodengepumpter Tm:YAG-, ein Tm, Ho:YAG-, ein Tm:YLF- oder ein Tm, Ho:YLF-Laser oder ein Diodenlaser (16) ist.

#### Claims

1. Method of welding thermoplastic synthetic materials using laser light, the laser light being directed into a welding region of one work piece or of a plurality of contiguous work pieces made of thermoplastic synthetic material, **characterized in that** the laser light (2) has a wave length ranging from 1.8 to

- 2.2  $\mu\text{m}$ , and in that the thermoplastic synthetic materials have an intrinsic absorption with an absorption length ranging from 1 to 10 mm at this wave length.
2. Method according to claim 1, characterized in that the thermoplastic synthetic material, of which the two work pieces (7, 8) are made, is transparent or translucent in the range of wave lengths of visible light.
  3. Method according to claim 1 or 2, characterized in that the laser light (2) is directed into the welding region by means of an optic (5) and/or a light guide (4).
  4. Method according to claim 1, 2 or 3, characterized in that in the welding region a weld connecting the two work pieces (7, 8) and having a width ranging from 0.1 to 5 mm, particularly a width ranging from 0.7 to 2 mm, is formed.
  5. Method according to one of the claims 1 to 4, characterized in that the two work pieces (7, 8) have a thickness ranging from 50  $\mu\text{m}$  to 5 mm, particularly ranging from 0.2 to 2 mm.
  6. Method according to one of the claims 1 to 5, characterized in that during welding the work pieces (7, 8) are arranged between supporting elements (11, 12) within the region of the desired weld (9), at least one of the supporting elements letting the laser light (2) pass through.
  7. Method according to one of the claims 1 to 6, characterized in that by means of the light guide (4) the laser light (2) is directly guided onto the work piece or the work pieces (7, 8) made of thermoplastic synthetic material.
  8. Method according to one of the claims 1 to 7, characterized in that the laser light (2) is coupled into a plate-shaped light guide (4) and guided onto the work piece or the work pieces (7, 8) made of the thermoplastic synthetic material over a line-shaped welding region by means of said light guide (4).
  9. Device for welding thermoplastic synthetic materials using laser light according to one of the claims 1 to 8, the device comprising a laser as a light source for the laser light and an optic and/or a light guide for directing the laser light into a welding region of a work piece or of a plurality of contiguous work pieces made of thermoplastic synthetic material, characterized in that the laser (1) emits laser light (2) with a wave length ranging from 1.8 to 2.2  $\mu\text{m}$ .

10. Device according to claim 9, characterized in that a supporting element (12) in form of a reflector (13) is provided at the Backside of the workpieces (7, 8) opposing the optic (5) or the light guide (4), the reflector reflecting the remainder of the laser light (2) passing through the work pieces (7, 8) back onto the work pieces (7, 8), whereby an uneven heating of the work pieces (7, 8) over the welding region (19) caused by the progressing intrinsic absorption is at least partially compensated for.
11. Device according to claim 9 or 10, characterized in that the laser (1) is a, particularly diode-pumped, Tm:YAG-, Tm:Ho:YAG-, Tm:YLF- or Tm:Ho:YLF-laser or a diode laser (16).

#### Revendications

1. Procédé de soudage de matières thermoplastiques à lumière laser, la lumière laser étant dirigée dans une zone de soudage d'une pièce ou de plusieurs pièces adjacentes les unes aux autres en matière thermoplastique, caractérisé en ce que la lumière (2) présente une longueur d'onde de 1,8 à 2,2  $\mu\text{m}$ , et en ce que les matières thermoplastiques présentent, à cette longueur d'onde, une absorption intrinsèque avec une longueur d'absorption de 1 à 10 mm.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la matière thermoplastique, dans laquelle sont formées les deux pièces (7, 8) est transparente ou translucide dans la gamme de longueurs d'onde de la lumière visible.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la lumière laser (2) est dirigée dans la zone de soudage au moyen d'une optique (5) et/ou d'un guide de lumière (4).
4. Procédé selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que dans la zone de soudage est réalisé un cordon de soudure, d'une largeur de 0,1 à 5 mm, de préférence d'une largeur de 0,7 à 2 mm, qui relie les deux pièces (7, 8).
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les deux pièces (7, 8) présentent une épaisseur de 50  $\mu\text{m}$  à 5 mm, en particulier de 0,2 à 2 mm.
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les pièces (7, 8) sont disposées pendant le soudage dans la zone d'une liaison soudée (9) voulue entre des éléments de maintien (11, 12) dont un au moins laisse passer la lumière laser (2).

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que la lumière laser (2) est au moyen du guide de lumière (4) directement approchée de la ou des pièces (7, 8) en matière thermoplastique. 5
8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la lumière laser (2) est envoyée dans un guide de lumière (4) en forme de plaque et est approchée, au moyen du guide de lumière (4), par une zone de soudage en forme de ligne, de la ou des pièces (7, 8) en matière thermoplastique. 10
9. Dispositif de soudage de matières thermoplastiques à lumière laser selon l'une des revendications 1 à 8, comportant un laser en tant que source de lumière pour la lumière laser et comportant une optique et/ou un guide de lumière pour diriger la lumière laser dans une zone de soudage d'une pièce ou de plusieurs pièces adjacentes les unes aux autres en matière thermoplastique, caractérisé en ce que le laser (1) émet la lumière laser (2) avec une longueur d'onde de 1,8 à 2,2  $\mu\text{m}$ . 15 20 25
10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que sur la face arrière des pièces (7, 8), opposée à l'optique (5) ou au guide de lumière (4), est prévu un élément de maintien (12) sous la forme d'un réflecteur (13) qui rétroréfléchit le reste de la lumière laser (2), parvenant à travers les pièces (7, 8), sur les pièces (7, 8), ce qui compense au moins en partie un échauffement irrégulier des pièces (7, 8) sur la zone de soudage (19), en raison de l'absorption intrinsèque progressive. 30 35
11. Dispositif selon la revendication 9 ou 10, caractérisé en ce que le laser (1) est en particulier un laser Tm:YAG à pompage par diode, un laser Tm, Ho:YAG, un laser Tm:YLF ou un laser Tm, Ho:YLF ou un laser à diode (16). 40
- 45
- 50
- 55



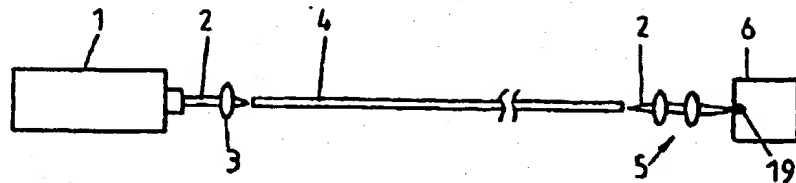


Fig. 1

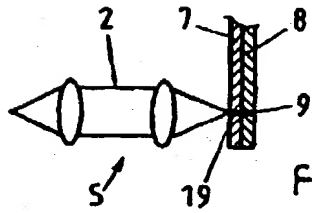


Fig. 2

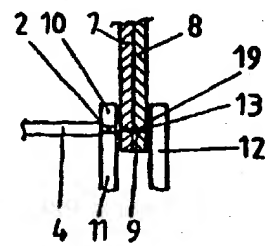


Fig. 3

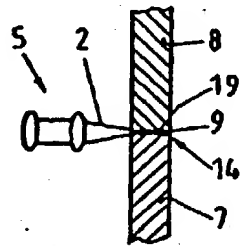


Fig. 4

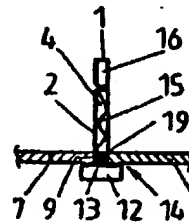


Fig. 5

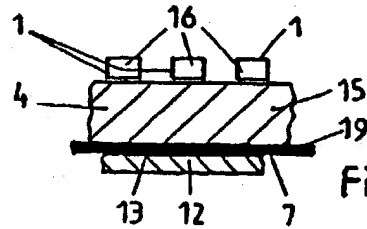


Fig. 6

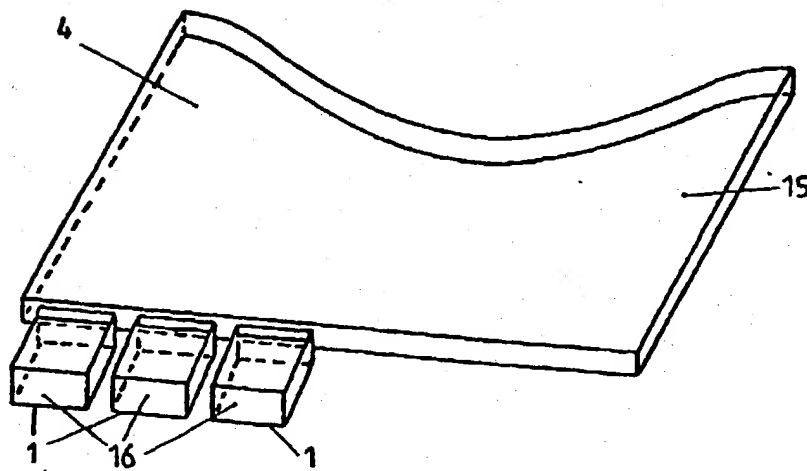


Fig. 7

EP 1 098 751 B1

The invention relates to a method for welding thermoplastic synthetic materials using laser light, wherein the laser light is directed into a welding region of a workpiece or a plurality of workpieces adjoining one another composed of thermoplastic synthetic material. The invention relates, furthermore, to a device for welding thermoplastic synthetic materials by means of laser light according to the method using a laser as light source for the laser light and using an optical system and/or a waveguide for directing the laser light into a welding region of a workpiece or a plurality of workpieces adjoining one another composed of thermoplastic synthetic material.

Welding of thermoplastic synthetic materials is usually done by having the thermoplastic synthetic materials make contact with heating elements. By means of heat transfer from the heating elements to the thermoplastic synthetic materials the latter are heated up and plasticised until, for example, a joint between two workpieces composed of thermoplastic synthetic material is possible. In doing so there is a disadvantage in that the thermoplastic synthetic materials reach their highest temperature at their boundary surface relative to the heating elements, ie are plasticised to a particularly great extent. Plasticisation of the synthetic material, however, is really needed at points where, for example, a joint should be made between two workpieces. On the contrary, in the region of contact with the heating elements there is the danger that on removing the heating elements from the workpieces the workpieces which are still plastic there will be damaged. Accordingly, it is necessary in numerous applications to cool the heating elements first of all and only then to remove them from the workpieces. As a result of this, however, the cycle times achievable in welding are considerably prolonged. Another disadvantage of welding thermoplastic synthetic materials using

heating elements lies in the fact that for constructing welded joints of geometrically complicated shapes heating elements of correspondingly complicatedly shapes are needed and for small-scale or one-off production this is scarcely profitable.

In a method of the type described at the outset disclosed in DE 42 25 679 A1 laser light from a CO<sub>2</sub> laser having a wavelength of 10.6  $\mu\text{m}$  is used. The laser light replaces a heating element and heats up the thermoplastic synthetic material directly.

However, laser light having a wavelength of 10.6  $\mu\text{m}$  does not appreciably penetrate into the depth of a workpiece composed of thermoplastic synthetic material even if the synthetic material is transparent in the wavelength range of visible light. On the contrary, after penetrating a few tenths of a mm into the workpiece laser light of wavelength 10.6  $\mu\text{m}$  is completely absorbed and converted into heat. This means that as when using a heating element the heat accumulates in the region of the surface typically facing away from the weld joint in the workpiece facing towards the laser. Since the laser light can act on thermoplastic synthetic material without contact there is no risk of damaging the workpiece on removing a heating element. After welding, however, the workpiece must nevertheless be cooled so that its surface which is particularly plastic in part due to the heating and hence sensitive is not damaged. This is just as contrary to short cycle times for welding as the transfer of heat from the surface of the workpiece into the region of the actual weld. Furthermore, in the known method it is disadvantageous that the devices needed to carry it out are very costly. CO<sub>2</sub> lasers are already expensive per se. To this is added the fact that at present no suitable waveguides for laser light having a wavelength of 10.6  $\mu\text{m}$  are known. Accordingly, laser light of this wavelength must be directed onto the workpiece in question by means of complicated articulated arms bearing mirrors.

From DE 38 13 570 A1 it is in principle known in a method for welding thermoplastic synthetic materials using laser light to select the wavelength of the laser light so that complete absorption of the laser light in the work pieces in question occurs. At the same time, however, specific wavelengths for the laser light are not given.

DE 44 32 081 A1 in a method for welding thermoplastic synthetic materials using laser light discloses the use of laser light having a wavelength of 0.50 to 10.90  $\mu\text{m}$ . In doing so a wavelength range of 0.7 to 3.0  $\mu\text{m}$  is to be particularly preferred. For this preferred wavelength range a Nd-YAG laser is cited exclusively as an example whose laser light is known to have a wavelength of 1.06  $\mu\text{m}$ . Laser light of this wavelength is absorbed only in small proportions by known thermoplastic synthetic materials without additives. Accordingly, in order to achieve high conversion of the laser light into heat one of the two workpieces must be non-transparent at the wavelength of 1.06  $\mu\text{m}$  or a black surface arranged behind the workpieces must be provided. At the boundary surface in question to the transparent synthetic material the laser light is converted into heat. When there is an additional black surface the same disadvantages arise as for a heating element heated in a different way. In a combination of a workpiece made of thermoplastic synthetic material without additives which is transparent to light having a wavelength of 1.06  $\mu\text{m}$  and a workpiece composed of thermoplastic synthetic material which due to additives is not transparent at just this wavelength although in a planar joint between the two workpieces there is a concentration of heat conversion in the area of actual welding, welding of two workpieces in a butt joint, for example, is not possible. Moreover, due to the need to construct a workpiece of thermoplastic synthetic material which

is not transparent at the relevant wavelength there are serious limitations in the applicability of the known method.

DE 25 44 371 discloses the welding flat to one another of very thin films of thermoplastic synthetic material approximately 15  $\mu\text{m}$  thick using laser light having a wavelength of 10.6  $\mu\text{m}$ . For this purpose the laser light is directed through the sheets of thermoplastic synthetic material onto an underlay bar. Given the short absorption length of laser light of this wavelength in thermoplastic synthetic materials this is possible only for films of low thickness. The underlay bar is heated by the laser light to a temperature of almost 1,900 °C at which it emits radiation in the spectral range of 1.7 to 3.4  $\mu\text{m}$ . This radiation should then be adequately absorbed by the synthetic material, which is a polyethylene, although the absorption length of light in synthetic material is greater for shorter wavelengths than for the original laser light having a wavelength of 10.6  $\mu\text{m}$ . Thus, in fact only a very limited portion of the incident light energy is usable for heating the relevant area of the film. Furthermore, due to the high temperature of the underlay bar when welding the films any contact with it must be prevented in costly manner. In such an arrangement it is not possible under any circumstances to concentrate the thermal radiation of a hot underlay bar in the spectral range of 1.7 to 3.4  $\mu\text{m}$  onto a limited welding area since the areas of the underlay bar heated by the original laser light act as point light sources emitting in all free directions in space.

DE 296 21 859 U1 discloses a diode-pumped laser whose crystal can be a Tm: YAG crystal, a Tm, Ho: YAG crystal, a Tm: YLF crystal or a Tm, Ho: YLF crystal and which has a wavelength of the emitted laser light of approximately 2  $\mu\text{m}$ . The laser light can be fed into a low-water or water-free light waveguide, in

particular into a quartz-quartz fibre. At wavelengths in the region of 2  $\mu\text{m}$  quartz-quartz fibres have such a high transmission coefficient that it is possible to guide the laser light with little attenuation over relatively long fibre lengths of 1 to 3 m.

The invention is based on the object of demonstrating a method for welding thermoplastic synthetic materials of the type described at the outset which allows troublefree and rapid welding even of relatively thick workpieces made of synthetic material with formation of durable welded joints, in particular of butt joints. Furthermore, a device for carrying out the method is to be revealed.

In the method of the type described at the outset the task is solved according to the invention in that the laser light has a wavelength of 1.8 to 2.2  $\mu\text{m}$ , ie of approximately 2  $\mu\text{m}$ . Laser light in this wavelength range is absorbed by many thermoplastic synthetic materials directly, ie independently of any fillers or additives, over an absorption length of a few mm. This means that a workpiece irradiated with laser light of this wavelength is heated at depth and possibly precisely where a welded joint is to be constructed. Thus plastics such as polyamides, polyacetates, polyesters, polyethylenes, polypropylenes, polycarbonates, polyolefins which frequently cannot be joined by means of adhesive can be welded durably to one another without problem. Particularly good results are obtained with polypropylenes. Welding different thermoplastic synthetic materials is also feasible. The following table provides an overview of the plastics which can be employed according to the current state of the art. In this the heading "Appearance" relates to the visible light range and "coloured" refers to variants of the plastic in question coloured by added colorants. In the new method exploiting the intrinsic

absorption by thermoplastic synthetic materials of laser light having a wavelength of approximately  $2\text{ }\mu\text{m}$  the added colorants behave in neutral manner. Thus, using the new method plastics in particular can be welded which in the wavelength range of visible light are transparent or translucent. Colorants and other additives, however, may be added to plastics for other reasons. The handling of the laser light having a wavelength of approximately  $2\text{ }\mu\text{m}$  is free of problems. It can be guided in low-water or water-free quartz-quartz fibres without excessive attenuation even over relatively large lengths of fibre. In this wavelength range focusing of the laser light onto a movable point or a line or also the non-focused projection of the laser light onto a line are possible with customary optics so that even very fine welded joints can be constructed. This is possible down to a width of  $0.1\text{ mm}$ . By means of the new method the welded joints joining the two workpieces are constructed preferably with a width of  $0.7$  to  $2\text{ mm}$ . Welded joints having greater widths are also possible without further ado. Thicknesses of material in the two workpieces are typically between  $50\text{ }\mu\text{m}$  and  $5\text{ mm}$ , wherein the main focus is on films  $0.2$  to  $2\text{ mm}$  thick. When the workpieces are to be welded with a butt joint their material thickness exactly matches the width of the welded joint. Suitable material thicknesses for butt-welding start at  $0.5\text{ mm}$ . By comparison with the absorption length of laser light of wavelength  $2\text{ }\mu\text{m}$  in thermoplastic synthetic materials of about  $1$  to  $10\text{ mm}$  depending on the material suitable material thicknesses in the region of the welded joint are of the same order of magnitude or are up to approximately an order of magnitude smaller, whereby although a lower power yield of the laser light is then achieved this is compensated by a particularly homogeneous distribution of heating over the depth of the region exposed to the laser light.

Table

Plastic	Appearance
PS	Transparent or coloured
PMMA	Transparent or coloured
PC	Transparent or coloured
PE	Natural-coloured or coloured
PA	Natural-coloured or coloured
POM	Natural-coloured or coloured
SAN	Natural-coloured or coloured
ABS	Natural-coloured or coloured
PP	Natural-coloured or coloured
SB	Natural-coloured or coloured
PVC	Natural-coloured or coloured
PET	Natural-coloured or coloured
PSU	Natural-coloured or coloured
PBT	Natural-coloured or coloured
TPE	Natural-coloured or coloured

Using the new method two workpieces made of plastic can be welded in overlapping manner to one another, whereby the laser light is directed transversely relative to the workpieces. Typically the laser light heats the workpieces on both sides of the contact region, whereby any weakening due to absorption in the region of the rear workpiece can be compensated by a reflector arranged behind this workpiece. The reflector itself is not critical since it is not itself heated by the laser light. It may even be cooled during welding.

Using the new method it is also possible in particular to weld two plastic workpieces together with a butt joint. In doing so the laser light is directed onto both workpieces in a definedly limited, typically very narrow region parallel to the plane of the butt joint. The narrow sides of the work pieces in contact



with one another are heated up by the laser light over the entire depth of the butt joint. Here too a reflector can again compensate any weakening of the laser light by absorption in the direction of the thickness of the butt joint. A particular advantage of the new method by comparison with the state of the art is the possibility of butt-welding both relatively thin films and relatively thick workpieces.

During welding in the region of the required welded joint the workpieces can be arranged between holding elements of which at least one allows the laser light to pass through. The other holding element can be the aforementioned reflector. Both holding elements can be cooled during welding so that the effective heating of the workpieces is concentrated onto an inner region. This is useful in the planar welding of plastic films for example. When constructing a butt joint which should extend over the entire thickness of the butt ends the holding elements must not be cooled so much that the workpieces are no longer plasticised in the vicinity of the holding elements.

The new method, however, may also be carried out completely without contact, whereby the workpieces are laid bare in the region of the required welded joint during welding.

In the new method the laser light can be directed in the form of a spot onto the workpiece or workpieces composed of thermoplastic synthetic material by means of a waveguide. Accordingly, the welded joint when joining two workpieces can have a very complex geometric shape as long as the waveguide can be guided in the direction thereof. This, however, can be done without problem using simple, commonly employed positioning devices.

The laser light, however, can also be guided over a relatively large linear region of a desired weld on the workpieces composed of thermoplastic synthetic material. This is possible, for example, using a waveguide plate on one narrow side of which a plurality of lasers is arranged while the opposite narrow side is arranged to fit against one or both of the workpieces. The laser light is held in the waveguide plate by total reflection and the intensity of the laser light is homogenised over the width of the plate.

The device of the type described at the outset is characterised according to the invention in that the laser emits the laser light at a wavelength of 1.8 to 2.2  $\mu\text{m}$ . Such lasers are disclosed, for example, in DE-UM 296 21 859.6. The laser described there having a wavelength of about 2  $\mu\text{m}$  are particularly well suited to carrying out the method. These are in particular diode-pumped Tm: YAG-Tm, Ho: YAG, Tm: YLF or Tm, HO: YLF lasers. These solid lasers are for their part already comparatively inexpensive. Moreover, a suitable diode laser may also be used which emits the laser light at a wavelength of 2  $\mu\text{m}$ . The laser light at the wavelength of 2  $\mu\text{m}$  can additionally be guided and focused at low cost. It further turns out that by comparison with a corresponding device from the state of the art having a Nd: YAG laser a laser having a luminous power which is approximately an order of magnitude lower is sufficient since its laser light is surprisingly effective and heats up the plastic in the relevant areas of the workpiece or workpieces in concentrated manner. Nevertheless, despite the lower luminous power, within short exposure times to the laser light having a wavelength of approximately 2  $\mu\text{m}$  marked heating of the thermoplastic synthetic material occurs which as a result allows high welding speeds with simultaneously high quality of the welded joints produced. In the preferred

embodiment of the new device the laser is a continuously emitting line-focus laser.

The invention is explained and described in more detail below with reference to exemplified embodiments. The drawing shows:

Fig 1 the set-up in principle for carrying out the new method;

Fig 2 a first embodiment of the new method;

Fig 3 a modification of the embodiment of the new method shown in Fig 2;

Fig 4 a second embodiment of the new method;

Fig 5 a modification of the embodiment of the new method shown in Fig 4;

Fig 6 a second view of the modification of the second embodiment of the new method shown in Fig 5; and

Fig 7 details of a device for a further modification of the embodiment of the method shown in Figs 5 and 6.

Fig 1 shows a laser 1, which is a diode-pumped Tm: YAG solid laser emitting laser light 2 at a wavelength of 2  $\mu\text{m}$ . The laser light 2 is focused by a lens 3 into a waveguide 4. The waveguide is a water-free quartz-quartz fibre. The waveguide exhibits only low attenuation of the laser light 2 even in the case of relatively long fibre lengths. The laser light 2 re-emerging from the waveguide 4 is transformed by an optical system 5 and then strikes a workpiece 6 composed of thermoplastic synthetic material, a polyolefin for example. The laser light 2 is absorbed in a welding region 19 of the

workpiece 6 over an absorption length of several mm, ie converted into heat.

The heating of a lamellar workpiece 7 of another lamellar workpiece 8 located therebehind, both composed of thermoplastic synthetic material, is utilised in the arrangement shown in Fig 2 for the planar joining of the workpieces 7 and 8 by a welded joint 9 formed in the heated welding region. In doing so the workpieces 7 and 8 are welded without contact, ie the workpieces 7 and 8 are completely free in the region of the welded joint 9 and at a distance to the optical system 5.

In the embodiment shown in Fig 3 the optical system 5 is dispensed with. Instead the waveguide 4 fits directly against a quartz glass plate 10 which forms a first holding element 11 for the pair of workpieces 7 and 8 to be bonded flat to one another. To the rear of the workpieces 7 and 8 a second holding element 12 in the form of a reflector 13 is provided. The laser light 2 emanating from the waveguide 4 passes through the quartz glass plate 10 and is then gradually absorbed by the workpieces 7 and 8, whereby the workpieces 7 and 8 are heated in the welding region 19, ie in the region of the required welded join 9. the remainder of the laser light 2 striking the reflector 13 is reflected back onto the workpieces 8 and 7 as a result of which any non-uniform distribution of the heating of the workpieces 7 and 8 over the welding region 19 due to progressive absorption is compensated at least in part. The rate of plasticisation of the plastic at the outer surfaces of the workpieces 7 and 8 is of the same order of magnitude as plasticisation in the region where the workpieces 7 and 8 are in contact with one another. This alone makes it possible to move the holding elements 11 and 12 apart very quickly after the welded joint 9 has been constructed without any damage to the weld. In addition, it is possible to cool the holding

elements 11 and 12 continuously since heating of the workpieces 7 and 8 in the region of contact with the holding elements 11 and 12 is unnecessary for forming the welded joint 9.

Fig 4 shows a different embodiment for welding two workpieces 7 and 8 using laser light 2. The workpieces 7 and 8 composed of thermoplastic synthetic material are here arranged edge to edge. The laser light 2 from the optical system 5 is directed onto the workpieces 7 and 8 in such a way that both workpieces 7 and 8 are heated over the entire thickness of the butt joint 14 and hence of the required weld 9. This possible without problem starting at a wavelength of the laser light 2 of 2  $\mu\text{m}$  for a material thickness of the workpieces 7 and 8 of up to several mm.

While in Fig 4 the workpieces 7 and 8 are not guided or held in the region of the welded joint 9, in Fig 5 support is provided at the rear by a holding element 12 constructed as a reflector 13. Arranged on the admission side of the laser light is a quartz glass plate 15 whose narrow side lies opposite the holding element 12. The quartz glass plate 15 serves as waveguide 4 for the laser light 2 which here is directed into the quartz glass plate 15 directly from the lasers 1 constructed as diode lasers 16 on the side of the quartz glass plate 15 opposite the reflector 13. The laser light 2 is guided by total reflection in the quartz glass plate 15, whereby its intensity distribution is simultaneously homogenised over the width of the quartz glass plate 15 and it then strikes the workpieces 7 and 8 in the region of the butt joint 14, ie in the welding region 19 or the desired welded joint 9.

Fig 6 shows the arrangement in Fig 5 from a viewing direction running at right angles to that of Fig 5 and allows the plurality of diode lasers 16 to be seen.

In Figs 5 and 6 the contact surface of the quartz plate 15 on the workpieces 7 and 8 is flat. Fig 7 shows the case of a complex shape for the desired welded joint in that the narrow side of the quartz plate 15 located opposite the diode lasers 16 exhibits a complicated curvilinear shape. The use of a quartz plate 15 for light guidance is always useful when comparatively broad welded joints are to be produced and when a large number of identical welded joints is to be constructed. Cases of changing geometries of the welded joints and particularly when narrow welded joints are required are easier to deal with using the arrangement shown in Figs 1-4.

## Claims

1. Method for welding thermoplastic synthetic materials using laser light, wherein the laser light is directed into a welding region of one workpiece or a plurality of contiguous workpieces composed of thermoplastic synthetic material, characterised in that the laser light (2) has a wavelength of 1.8 to 2.2  $\mu\text{m}$  and that at this wavelength the thermoplastic synthetic materials have an intrinsic absorption with an absorption length of 1 to 10 mm.
2. Method according to Claim 1, characterised in that the thermoplastic synthetic material from which the two workpieces (7, 8) are constructed is transparent or translucent in the wavelength range of visible light.
3. Method according to Claim 1 or 2, characterised in that the laser light (2) is directed into the welding region by means of an optical system (5) and/or a waveguide (4).
4. Method according to Claim 1, 2 or 3, characterised in that in the welding region a welded joint joining the two workpieces (7, 8) having a width of 0.1 to 5 mm, preferably having a width of 0.7 to 2 mm, is formed.
5. Method according to any of Claims 1 to 4, characterised in that the two workpieces (7, 8) have a thickness ranging from 50  $\mu\text{m}$  to 5 mm, particularly from 0.2 to 2 mm.
6. Method according to any of Claims 1 to 5, characterised in that during welding in the region of desired welded joint (9) the workpieces (7, 8) are arranged between holding elements (11, 12) of which at least one allows the laser light (2) to pass through.

7. Method according to any of Claims 1 to 6, characterised in that by means of the waveguide (4) the laser light (2) is brought directly to the workpiece or workpieces (7, 8) composed of thermoplastic synthetic material.
8. Method according to any of Claims 1 to 7, characterised in that the laser light (2) is directed into a plate-shaped waveguide (4) and by means of said waveguide is guided over a linear welding region on the workpiece or workpieces (7, 8) composed of thermoplastic synthetic material.
9. Device for welding thermoplastic synthetic materials using laser light according to any of Claims 1 - 8 comprising a laser as light source for the laser light and comprising an optical system and/or a waveguide for directing the laser light into a welding region of a workpiece or a plurality of contiguous workpieces composed of thermoplastic synthetic material, characterised in that the laser (1) emits the laser light (2) at a wavelength of 1.8 to 2.2  $\mu\text{m}$ .
10. Device according to Claim 9, characterised in that on the rear side of the workpieces (7, 8) opposite the optical system (5) or the waveguide (4) a holding element (12) in the form of a reflector (13) is provided which reflects the remainder of the laser light (2) passing through the workpieces (7, 8) back onto the workpieces (7, 8), whereby any non-uniform heating of the workpieces (7, 8) over the welding region due to the progressive intrinsic absorption is compensated at least in part.
11. Device according to Claim 9 or 10, characterised in that the laser (1) is a, particularly diode-pumped, Tm: YAG, a



Tm, Ho: YAG, a Tm: YLF or a Tm, Ho: YLF laser or a diode laser (16).